

VIRTUAL BURSTING TEST ELBOW 16" LR 90° DENGAN METODE ELEMEN HINGGA MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS WORKBENCH

Muhammad Salem Abdul Ajes

Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah Cilegon, Kota Cilegon,
Jl. Griya Serdang Indah No.229 Serdang, 42161
msa.ajes@gmail.com

ABSTRAK

Perpipaan adalah suatu sistem penyaluran media produksi yaitu mendistribusikan fluida cair maupun gas. Perpipaan bekerja pada tekanan tertentu sehingga menimbulkan tegangan di bagian dindingnya. Analisis tegangan dapat dilakukan dengan *bursting test* sesuai standar pada ASME B16.9 *Factory-Made Wrought Butt Welding Fitting*. Pengujian ini banyak membutuhkan biaya karena bersifat merusak material uji. Untuk meminimalisir biaya yang diperlukan pada *bursting test*, dilakukan pengujian *virtual* menggunakan *software ANSYS Workbench*.

Pada penelitian ini, telah dilakukan pemodelan struktur *elbow Long Radius 90°* ukuran 16" material ASTM A234 WPB dengan *Computer Aided Design* menggunakan *software Autodesk Inventor Professional* dan simulasi model menggunakan *software* Metode Elemen Hingga yaitu *ANSYS Workbench* untuk *bursting test* apakah sesuai dengan kriteria standar ASME B16.9.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada *elbow* dengan pembebanan tekanan (*required proof test pressure*) 321,75 Bar adalah sebesar 432,88 MPa. Tegangan tersebut berada di bawah *tensile ultimate strength* material ASTM A234 WPB (468 MPa), sehingga dinyatakan dapat diterima (*satisfactory*) dan lulus uji sesuai standar ASME B16.9. Tekanan maksimum yang menyebabkan *elbow* pecah adalah 347,86 Bar. Penggunaan *elbow* harus di bawah tekanan tersebut. Dari hasil-hasil tersebut *virtual bursting test elbow* dapat diterima sesuai standar dan *bursting test* bisa dilakukan tanpa harus merusak material uji yang membutuhkan banyak biaya.

Kata kunci: Elbow, *Virtual Bursting Test*, ASME, ASTM

ABSTRACT

Piping is a distribution system that distributes the production of liquid fluid or gas. Piping work at a certain pressure, causing the voltage on the walls. Stress analysis can be done with the bursting test according to standard ASME B16.9 Factory-Made Wrought Butt Welding Fittings. This test a lot of requires costs because it is destructive material testing. To minimize cost required at the bursting test, carried out virtual testing using software of ANSYS Workbench.

In this study, has done modeling the structure of elbow Long Radius 90° size 16" material ASTM A234 WPB with Computer Aided Design using software Autodesk Inventor Professional and model simulations using software Finite Element Method is ANSYS Workbench to assess the bursting test if according to standard criteria ASME B16.9.

The analysis showed that the maximum stress that occurs at the elbow with loading pressure (required proof test pressure) 321.75 Bar is at 432.88 MPa. The stress is below the ultimate tensile strength ASTM A234 WPB material (468 MPa), so that is expressed is acceptable (satisfactory) and passed the test according to ASME B16.9 standards. The maximum pressure that causes rupture elbow is 347.86 Bar. The use of elbow should be under such pressure. From the results of simulation bursting test elbow is acceptable according to standards and test bursting can be performed without having to destroy the test material that require a lot of expenses.

Keywords: Elbow, *Virtual Bursting Test*, ASME, ASTM.

PENDAHULUAN

Perpipaan merupakan urat nadi dalam proses produksi suatu industri yang fungsinya sangat vital. Untuk menjamin fungsi perpipaan secara optimal diperlukan upaya pengendalian, pengawasan mutu struktural maupun operasional yang konsisten. Material perpipaan harus disesuaikan dengan penggunaan instalasi yang terdapat pada standar seperti ASTM serta ANSI. Umumnya komponen perpipaan seperti *elbow* digunakan pada tekanan tertentu sehingga menimbulkan tegangan di bagian dindingnya. Tegangan yang terjadi melebihi batas yang diijinkan dapat berakibat fatal, maka analisis tegangan dapat dijadikan sebagai kajian awal dalam mendesain *elbow* untuk berbagai keperluan dalam bidang rekayasa teknik. Untuk mengetahui tekanan maksimum yang diijinkan sesuai kode ASME B31.3 dilakukan *bursting test* guna menjamin mutu *elbow* sebelum digunakan.

Bursting test elbow merupakan salah satu pengujian pada *elbow* dengan media air yang bertekanan di dalamnya sesuai dalam standar ASME B16.9. Tekanan terus ditambahkan dengan menggunakan pompa dan dimonitor dengan alat bantu manometer hingga *elbow* pecah karena adanya tegangan di bagian dinding *elbow*.

Pada penelitian ini, terjadi pada perusahaan EPC memiliki 10 buah *elbow* LR 90° ukuran 16" ASTM A234 WPB yang ternyata *elbow* tersebut tidak ada sertifikasi pengujian dan hanya ada sertifikat pada *elbow* SR 90° ukuran 12". Untuk menjamin apakah *elbow* tersebut aman digunakan, harus dilakukan pengujian salah satunya *bursting test*.

Bursting test bersifat merusak material uji sehingga *elbow* tersebut tidak bisa dilakukan *bursting test* secara aktual karena perusahaan akan menggunakan kesepuluh *elbow*. Salah satu cara untuk menyakinkan bahwa *elbow* aman digunakan yaitu dengan pengujian menggunakan metode uji *virtual*.

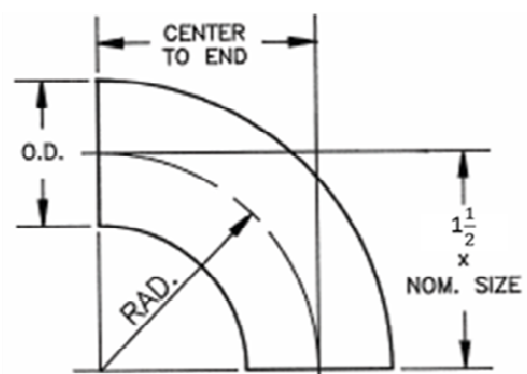
Bursting test dilakukan pada *elbow long radius* 90° ukuran 16" material ASTM A234 WPB dengan metode *virtual* sesuai kriteria ASME B16.9. Pemodelan *elbow* menggunakan *software Autodesk Inventor Professional* dan data manufaktur *elbow* yang digunakan dari *Tectubi (Tianjin) Fittings Co., Ltd.* Dengan metode *virtual* menggunakan *ANSYS Workbench* bertujuan menganalisis, mengetahui dan mengidentifikasi tekanan maksimum pada

bursting test elbow secara matematis dan tidak menghancurkan atau merusak *elbow* serta menganalisis material *elbow* ASTM A234 WPB dapat diterima atau tidak sesuai kriteria standar ASME B16.9.

DASAR TEORI

Untuk mengalirkan suatu fluida (cair atau gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya digunakan suatu media berupa pipa. Gabungan dari pipa-pipa yang memiliki panjang total relatif pendek dan digunakan untuk mengalirkan fluida dari suatu peralatan ke peralatan lainnya yang beroperasi pada suatu *plant* disebut sistem perpipaan. Dalam sistem perpipaan terdapat beberapa komponen perpipaan seperti *fitting*.

Elbow merupakan salah satu komponen dari *fitting*, sedangkan *fitting* adalah salah satu komponen perpipaan yang memiliki fungsi untuk merubah aliran, menyebarkan aliran, membesarkan atau mengecilkan aliran. *Elbow* berfungsi sebagai pengubah arah perpipaan secara menyudut 90° atau 45°. *Elbow* 90° merupakan jenis *fitting* yang sering digunakan. *Fitting* jenis ini digunakan saat pipa mengalami perubahan orientasi, baik ketika pipa harus naik, turun, berbelok ke kiri ataupun ke kanan. *Elbow* 90° biasanya diklasifikasikan menjadi *long radius*, *short radius*, *reducing elbow* dan *mitered*. Dari keempat jenis *elbow* 90° tersebut, *long radius* merupakan jenis yang banyak digunakan.



Gambar 1. *Elbow Long Radius* 90°

Dalam suatu rekayasa teknik, hal yang mendasar adalah menentukan batasan tegangan yang menyebabkan kegagalan dari material tersebut. Untuk menggunakan teori kegagalan yang terpenting adalah menentukan tegangan utama (*principal stress*). Tegangan yang telah dihitung dibandingkan dengan tegangan yang

dijijinkan oleh kekuatan material yang didapat dari hasil pengujian. Jika tegangan yang dihitung melebihi tegangan yang diijinkan oleh material, kegagalan dari material akan terjadi.

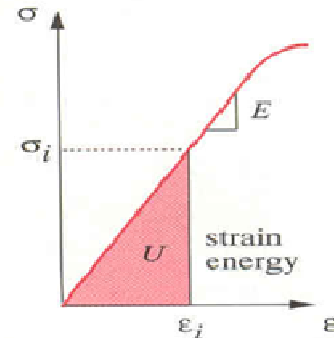
Pada penelitian ini menggunakan teori kegagalan *Von-Mises* yang menyatakan bahwa “Kegagalan diprediksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial bilamana energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana terhadap spesimen dari material yang sama”.

Pada percobaan-percobaan yang telah dilakukan, teori kegagalan *Von-Mises* memperkirakan kegagalan dengan ketelitian tertinggi di semua kuadran.

Energi regangan akibat distorsi (berkaitan dengan perubahan bentuk) per unit volume, U_d adalah energi regangan total per unit volume, U dikurangi energi regangan akibat beban hidrostatik (berkaitan dengan perubahan volume) per unit volume (U_h).

$$U_d = U - U_h \quad (1)$$

U adalah luas di bawah kurva tegangan-regangan.



Gambar 2. Energi Regangan Tersimpan Pada Elemen Terdefleksi

Material yang digunakan pada *elbow* untuk dilakukan *bursting test* dengan metode *virtual* adalah standar ASTM A234 WPB. A234 merupakan *carbon steel-low alloy* sedangkan WPB adalah *Wrought Pipe Bend* yaitu yang biasa digunakan pada *elbow*. ASTM A234 WPB adalah standar yang mengatur untuk *fitting carbon steel* dan *alloy steel*. Adapun spesifikasi ASTM A234 WPB ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Material ASTM A234 WPB

Komposisi Kimia (%)			
Carbon (max)	Manganese	Phosphorus (max)	Sulfur (max)
0.30	0.29-1.06	0.050	0.058
Chromium (max)	Molybdenum (max)	Nickel (max)	Copper (max)
0.40	0.15	0.40	0.40
Columbium (max)	Silicon (min)	Vanadium (max)	
0.02	0.10	0.08	
Sifat Mekanik			
Tensile Strength		414 – 585 Mpa	
Yield Strength (min)		240 Mpa	
Elongation (min)		17%	

Elbow yang menggunakan spesifikasi ASTM A234 WPB baik *long radius* maupun *short radius* dimensinya harus sesuai dengan standar ASME B16.28 maupun ASME B16.9. ASME B16.9 yaitu:

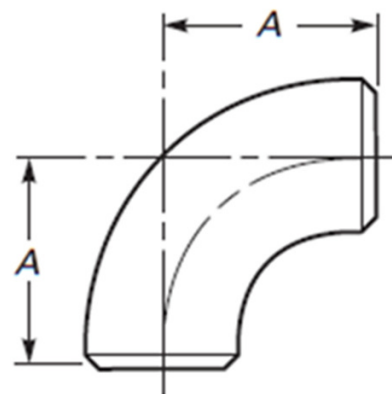
$$B_s = A \times \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2)$$

Keterangan:

B_s : Dimensi pusat ke ujung (*center to end*) (mm)

A : Dimensi siku (mm)

θ : Sudut siku ($^\circ$)



Gambar 3. Dimensi *Elbow Long Radius 90°*

Pada ASME B16.9 berlaku jenis pengujian pada *elbow* yaitu *bursting test* hidrostatik tes dengan fluida uji harus air atau cairan lainnya. Pengujian yang harus diambil untuk mengalami pecah atau pada bukti tekanan berada di atas minimum dihitung dengan jangka waktu minimum 3 menit. Tes berhasil jika untuk masing-masing pengujian *fitting* yang mengalami pecah dengan tekanan yang dapat dihitung berdasarkan faktor pengujian pada standar ASME B16.9 sebagai berikut:

$$P = \frac{2St}{D} \cdot f \quad (3)$$

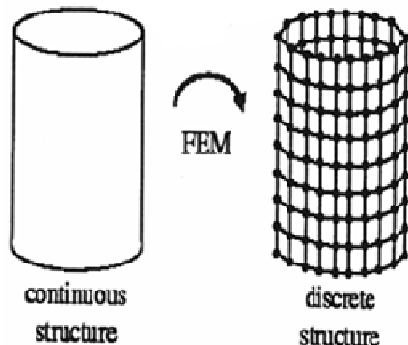
Keterangan:

- P : Tekanan (Bar)
S : Kekuatan tarik dari material (MPa)
t : Ukuran nominal ketebalan dinding *elbow* (mm)
D : Diameter
f : Faktor pengujian

Tabel 2. Faktor pengujian

Jumlah Pengujian	Faktor Pengujian
1	1.10
2	1.05
3	1.00

Metode Elemen Hingga merupakan suatu prosedur untuk mencari solusi secara numerik dari berbagai permasalahan rancang bangun. Untuk permasalahan kompleks dari geometri, pembebanan, dan sifat material, umumnya sulit untuk menyelesaikannya secara matematis.



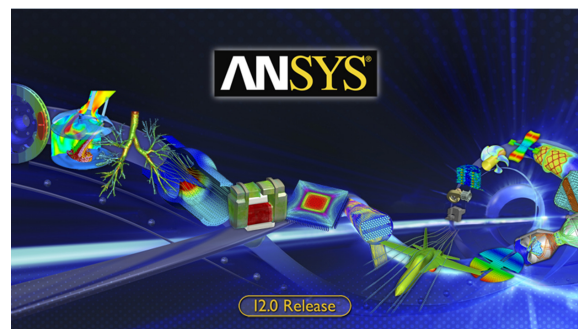
Gambar 4. Proses Diskritisasi Pada Metode Elemen Hingga

Diskritisasi (*discretization*) adalah proses pemodelan dari struktur/objek dengan membaginya dalam elemen-elemen kecil (*finite element* atau elemen hingga) yang terhubung oleh titik-titik (*nodes*) yang digunakan oleh elemen-elemen tersebut dan sebagai batas dari struktur/objek.

Program komputer untuk analisis tegangan pada sistem perpipaan berdasarkan prinsip Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method* atau FEM) dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Metode Fleksibilitas (*Flexibility Method*), besaran yang dicari adalah gaya dan momen.
2. Metode Kekakuan (*Stiffness Method*), besaran yang dicari adalah perpindahan (*displacement*) dan rotasi, gaya dan momen dihitung kemudian dengan menggunakan persamaan kekakuan setelah perpindahan dan rotasi sudah diketahui.

Program komputer komersial untuk analisis tegangan pipa yang tersedia sekarang umumnya menggunakan metode kekakuan, begitu juga dalam *ANSYS Workbench*. *ANSYS Workbench* dapat melakukan beberapa macam tipe simulasi yang berbeda seperti struktural, thermal, mekanika fluida, analisis elektromagnetik, dan lain-lain.

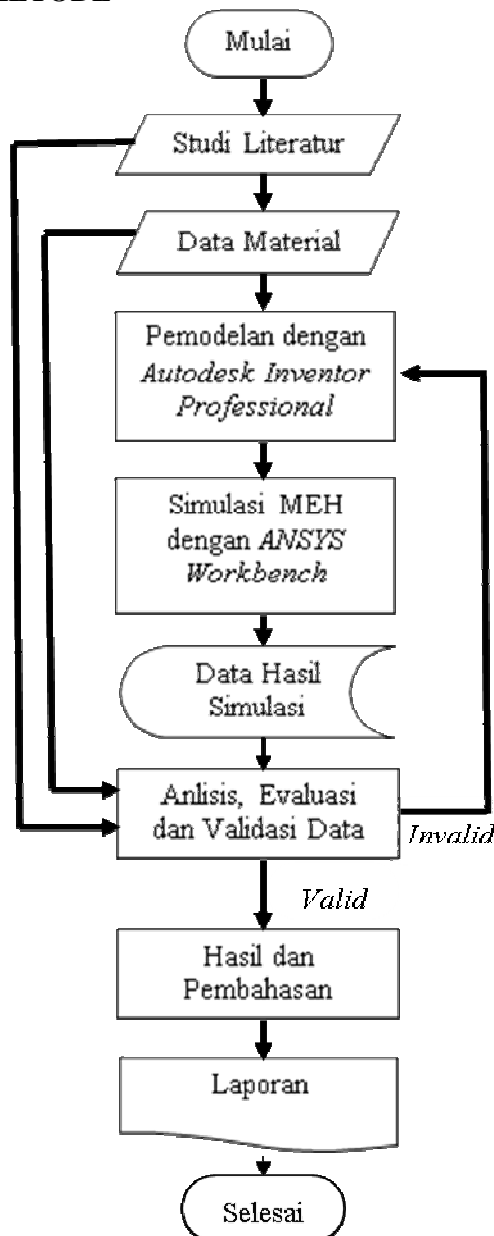


Gambar 5. ANSYS Workbench

ANSYS Workbench merupakan paket pemodelan elemen hingga untuk secara numerik memecahkan persamaan differensial dengan cara memecahnya menjadi elemen-elemen yang

lebih kecil. Masalah yang termasuk analisa struktur statis dan dinamis (baik *linear* dan *non-linear*), distribusi panas dan masalah cairan, dan masalah elektromagnetik. Konsep dasar *finite element analysis* (FEA) adalah mendiskritisasi atau membagi suatu struktur menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang jumlahnya berhingga, kemudian melakukan analisis gabungan terhadap elemen-elemen kecil tersebut. Tujuan dari *finite element analysis* adalah untuk memperoleh nilai pendekatan numerik sehingga dapat diselesaikan dengan bantuan komputer. *Finite element analysis* dikatakan bersifat *computer oriented*.

METODE



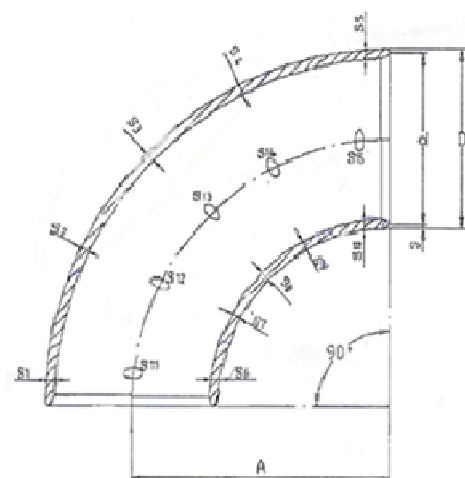
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan terhadap *bursting test elbow* dalam metode virtual dengan Metode Elemen Hingga menggunakan *software ANSYS Workbench* dan pemodelan dengan *Autodesk Inventor Professional* adalah sebagai berikut:

1. Memasukan data material.
2. Proses pemodelan gambar menggunakan *Autodesk Inventor Professional* sesuai data manufaktur dari *Tectubi (Tianjin) Fittings Co.,Ltd*.
3. Proses simulasi menggunakan perangkat lunak Metode Elemen Hingga yaitu *ANSYS Workbench*.
4. Proses evaluasi dan validasi data dengan hasil simulasi dan analisis serta pembahasan. Validasi yang dilakukan adalah memodelkan struktur pipa sederhana dengan memberikan tekanan jenis *internal pressure* sesuai hukum *hoop stress*.
5. Laporan hasil analisis *bursting test* menggunakan *ANSYS Workbench*.

Dalam *bursting test* dengan metode *virtual* ini digunakan *elbow* yang sesuai dengan *Tectubi (Tianjin) Fittings Co.,Ltd* yaitu *elbow long radius 90°* ukuran 16" *schedule 40*. Proses desain dari *elbow* tersebut sesuai dengan kode *ASME B31.3 Proses Piping*.

Pada pengujian ini ditambahkan *spool* ukuran 16" *schedule 40* dengan panjang $\frac{1}{3}$ dari panjang atau *center to end elbow* dan ditambahkan *cap 16" schedule 40* sebagai penutup. Dimensi dan ukuran *cap* disesuaikan dengan standar *ASME B16.9*. Adapun gambar dimensi pengujian menurut *Tectubi (Tianjin) Fittings Co.,Ltd* adalah:



Gambar 7. Dimensi Aktual Elbow Yang Dilakukan *Bursting Test*

Dalam manufaktur *elbow* yang digunakan untuk *bursting test* dengan metode *virtual* disesuaikan dengan *Tectubi (Tianjin) Fittings Co.,Ltd*. Dimensi ketebalan dari *elbow*

berbeda (gambar 7), karena dengan tujuan agar bagian yang tebal dapat bertahan jika diberi tekanan atau untuk mengurangi kegagalan dibagian tersebut.

Tabel 3. Ukuran Dimensi Aktual *Elbow*

S1	13.6	S6	13.0	S11	14.2
S2	13.6	S7	13.5	S12	14.2
S3	13.8	S8	14.2	S13	14.0
S4	13.7	S9	14.7	S14	14.3
S5	13.5	S10	14.8	S15	14.3

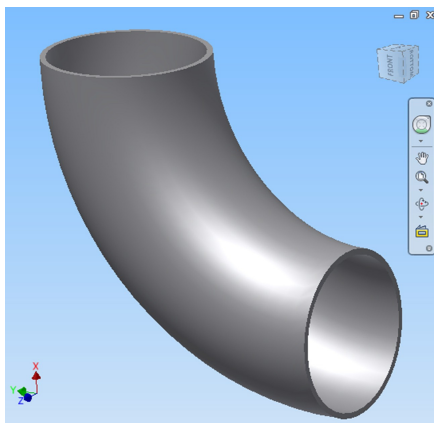
Data material yang digunakan untuk simulasi merupakan data dari *S.T. Eng. Co.,Ltd* yaitu pihak yang pernah melaksanakan *bursting*

test yang juga mereferensikan data material tersebut dari standar ASTM A234 WPB.

Tabel 4. Spesifikasi Material *Elbow* (Aktual)

Komposisi Kimia (%)				
C	Si	Mn	P	S
0.2	0.21	0.56	0.009	0.004
Cr	Mo	Ni	Cu	V
0.04	0.02	0.03	0.07	0.01
Sifat Mekanik				
Yield Strength (MPa)		Tensile Strength (MPa)		E (%)
284		468		30

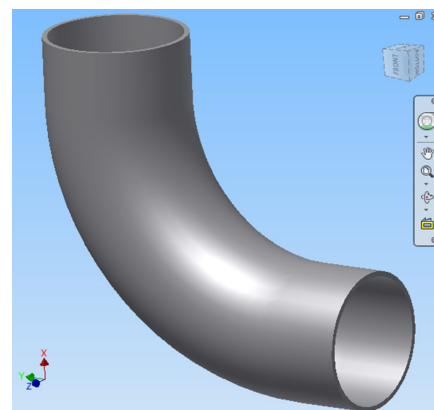
Hasil pemodelan 3D dilakukan menggunakan software *Autodesk Inventor Professional* sebagai berikut:

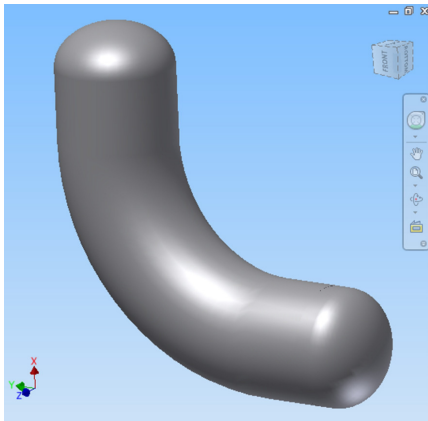
Gambar 8. Hasil Pemodelan *Elbow* 3D

Input dari pemodelan menggunakan *autodesk inventor professional* yaitu:

1. Nilai garis dan radius *fillet* sebesar 610 mm.
2. Lingkaran dengan diameter luar sebesar 406,4 mm dan diameter dalam 378,3 mm.

3. Titik tengah lingkaran diberikan jarak untuk menyesuaikan dimensi *elbow* yang sesuai dengan *Tectubi (Tianjin) Fittings Co.,Ltd* yaitu 0,643 mm.
4. Panjang *spool* 1/3 dari *center to end elbow* yaitu sebesar 203.3 mm.
5. Tinggi *cap* sebesar 203 mm.
6. *Elbow*, *spool* dan *cap* dimodelkan dalam satu *part*.

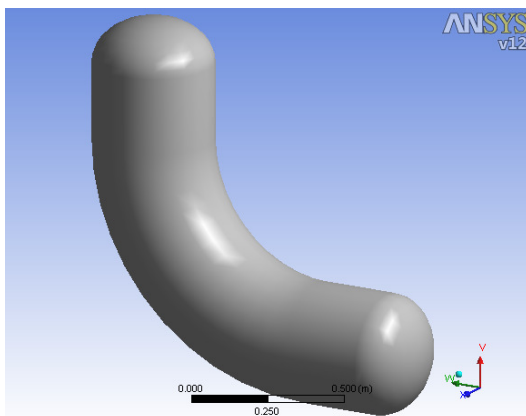
Gambar 9. Hasil Pemodelan *Elbow* dan *Spool* 3D



Gambar 10. Hasil Pemodelan *Elbow, Spool* dan *Cap* 3D

Sebelum melakukan analisis menggunakan *software ANSYS Workbench*, langkah pertama adalah memasukkan data material yang akan disimulasi. Data dimasukkan dalam *engineering data* dan sesuai dengan data aslinya yaitu dari *S.T. Eng. Co., Ltd* yang mereferensikan dari standar ASTM A234 WPB.

Selanjutnya *geometry* yaitu *import model elbow* yang akan dilakukan *bursting test*. *Elbow* tersebut merupakan hasil dari pemodelan yang sebelumnya dibuat dengan *software Autodesk Inventor Professional*. Pemodelan bisa juga dilakukan menggunakan *design modeler* yang disediakan dalam *ANSYS Workbench*, namun akan lebih mudah jika pemodelan dilakukan menggunakan *software CAD* seperti *Autodesk Inventor Professional*.

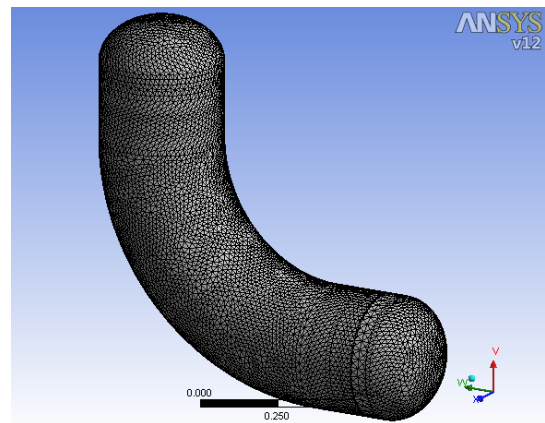


Gambar 11. Hasil *Import Model* 3D

Pembagian elemen (*meshing*) adalah proses geometri yang secara keseluruhan dibagi-bagi dalam beberapa elemen kecil. Elemen-elemen kecil ini nantinya berperan sebagai kontrol *surface* atau *volume* data perhitungan yang kemudian tiap elemen akan menjadi *input*

untuk elemen disebelahnya. Hal ini akan terjadi berulang-ulang hingga domain terpenuhi. Dalam *meshing*, elemen yang akan dipilih disesuaikan dengan kebutuhan dan bentuk geometri. *Meshing* yang digunakan harus bisa mendapatkan hasil yang terbaik. Perlu dilakukan penyesuaian jumlah elemen dengan hasil yang didapatkan sehingga didapatkan hasil dengan *error* yang kecil. Ukuran *meshing* dalam simulasi ini adalah 15 mm yang disesuaikan dengan kemampuan komputer.

Jenis *meshing* yang dilakukan pada simulasi ini adalah *meshing automatic* untuk semua bagian *solid*. Kemudian dilakukan akan terjadi konsentrasi tegangan. Kontrol *meshing* ini dilakukan untuk memperoleh elemen yang semakin kecil pada daerah yang dimaksud. Sehingga hasil analisis akan akurat terutama pada daerah yang dikontrol.



Gambar 12. Pembagian Elemen (*Meshing*)

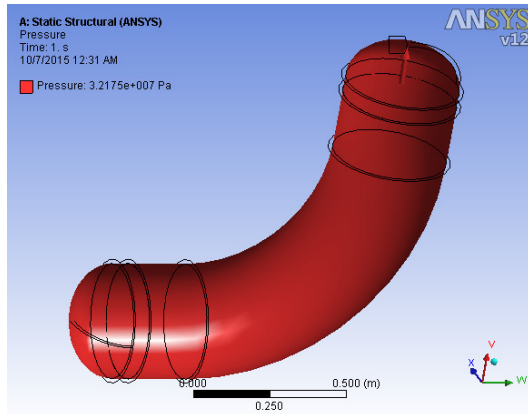
Tekanan yang diterima oleh material uji adalah *internal pressure* yang diaplikasikan pada seluruh permukaan bagian dalam dari material uji. Untuk mengetahui tekanan maksimum pada *elbow* dengan uji pecah, dilakukan perhitungan manual sesuai dengan kriteria standar ASME B16.9 (pers.3) yaitu:

$$P = \frac{2St}{D} \cdot f$$

$$= \frac{2 \times 468000000 \text{ Pa} \times 12,7 \text{ mm}}{406,4 \text{ mm}} \cdot 1,10$$

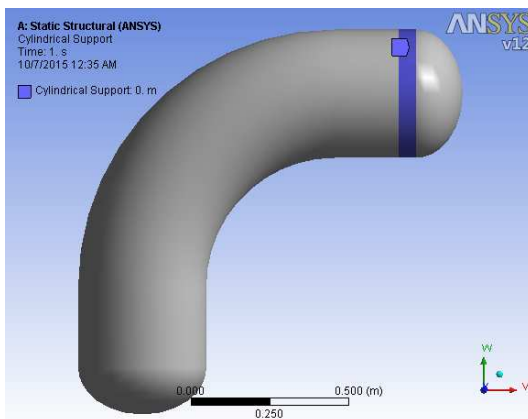
$$= 32175000 \text{ Pa} = 321,75 \text{ Bar}$$

Adapun gambar pemberian *internal pressure* pada simulasi *bursting test elbow* menggunakan *ANSYS Workbench* yaitu:



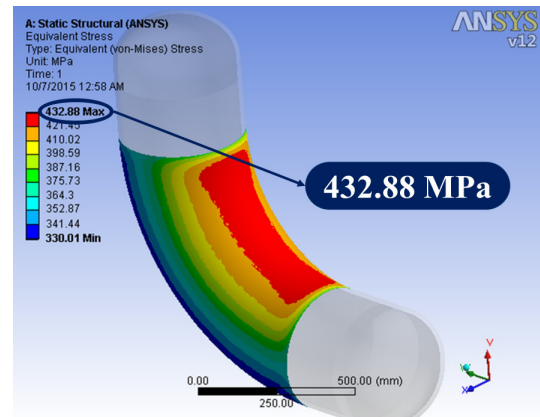
Gambar 13. Internal Pressure

Tumpuan (*support*) yang diberikan pada simulasi uji pecah disesuaikan dengan tumpuan aktual pada *bursting test* yaitu *cylindrical support*. *Cylindrical support* merupakan tumpuan untuk benda uji yang memungkinkan dapat bergerak secara bebas dalam arah radial dan aksial yang diaplikasikan pada permukaan benda uji yang berbentuk silindris.



Gambar 14. Cylindrical Support

Setelah diketahui tekanan yang diperlukan untuk pengujian, data yang dimasukkan ke proses simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench* bertujuan untuk mengetahui solusi pengujian yaitu:



Gambar 15. Hasil Simulasi ANSYS Workbench

Dari analisis ANSYS Workbench di atas terlihat *elbow* yang diberikan pembebanan tekanan 321,75 Bar dapat diterima (*satisfactory*) sesuai kriteria ASME B16.9 karena tegangan yang terjadi sebesar 432,88 MPa berada di bawah *tensile ultimate strength* material ASTM A234 WPB yaitu 468 MPa.

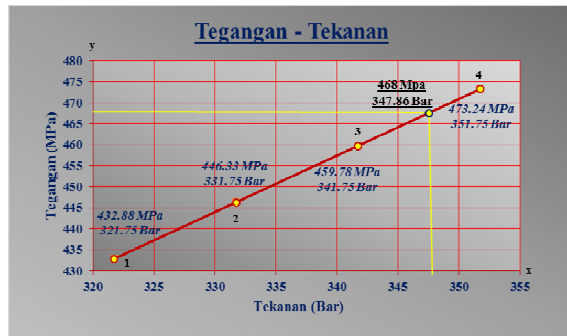
Untuk mendapatkan tekanan maksimum dari analisis simulasi, dilakukan beberapa percobaan dengan memberikan tekanan yang diperlukan ditambah 10 Bar sampai ditemukan tegangan dari analisis simulasi yang mendekati kekuatan tarik material.

Tabel 5. Data Percobaan Hasil *Bursting Test* (*satisfactory*)

No.	Tekanan Yang Diperlukan (Bar)	Kekuatan Tarik Material (MPa)	Tegangan (MPa)	Keterangan
1	321,75	468	432,88	Dapat diterima
2	331,75		446,33	Dapat diterima
3	341,75		459,78	Dapat diterima
4	351,75		473,24	Pecah/Hancur

Data percobaan di atas merupakan hasil-hasil analisis simulasi yang dapat diterima sesuai standar ASME B16.9. Analisis simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench* dihentikan pada tekanan 351,75 Bar karena hasil tegangan sebesar 473,24 MPa sudah melewati kekuatan tarik material yaitu dengan 468 MPa

dan dilakukan interpolasi untuk mendapatkan tekanan. Adapun perhitungan interpolasi untuk mengetahui tekanan yang diperlukan menggunakan cara interpolasi linear pada kurva data percobaan berikut:



Gambar 16. Kurva Data Percobaan

Pada titik ketiga dan keempat adalah titik yang mendekati nilai tekanan yang dicari. Persamaan interpolasi linear dapat dicari dengan cara berikut:

$$\frac{y - y_3}{y_4 - y_3} = \frac{x - x_3}{x_4 - x_3} \quad (4)$$

$$x = \frac{x_4 - x_3}{y_4 - y_3} \cdot (y - y_3) + x_3 \quad (5)$$

Dari persamaan (5) didapat tekanan yang harus diberikan yaitu:

$$\begin{aligned} x &= \frac{351,75 - 341,75}{473,24 - 459,78} \cdot (468 - 459,78) + 341,75 \\ &= 347,86 \text{ Bar} \end{aligned}$$

Untuk membuktikan bahwa interpolasi linear adalah riil, dilakukan perhitungan untuk mencari tekanan pada titik 2 sebesar 331,75 Bar yaitu:

$$x_2 = \frac{x_3 - x_1}{y_3 - y_1} \cdot (y_2 - y_1) + x_1 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{341,75 - 321,75}{459,78 - 432,88} \cdot (446,33 - 432,88) + 321,75 \\ &= 331,75 \text{ Bar} \end{aligned}$$

Dari pembuktian perhitungan interpolasi dapat dilihat hasilnya sama, artinya interpolasi dapat diterima pada perhitungan secara teoritis untuk mencari tekanan yang harus diberikan pada *bursting test elbow* dengan metode *virtual*.

Hasil interpolasi menunjukkan pada tekanan 347,86 Bar, *bursting test elbow* mengalami kegagalan atau pecah. Dilakukan juga analisis simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench* dengan memberikan tekanan 347,86 Bar sesuai perhitungan interpolasi.

Evaluasi dan validasi yang dilakukan yaitu membandingkan hasil simulasi menggunakan struktur pipa sederhana yang diberi pembebanan tekanan jenis *internal pressure* dengan hasil perhitungan teoritis. Validasi ini dilakukan untuk lebih meyakinkan

bahwa proses simulasi yang dilakukan untuk model yang lebih rumit sudah benar dan sesuai dengan teoritis. Keakuratan menggunakan *software* tergantung proses *input*, yaitu apabila memasukkan data yang salah, hasilnya pasti akan salah (*very fast idiot*). Simulasi untuk pipa dengan pembebanan jenis *internal pressure* dilakukan dengan cara memberikan tekanan sesuai dengan hukum *hoop stress* sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot r_i}{t} \quad (7)$$

Keterangan:

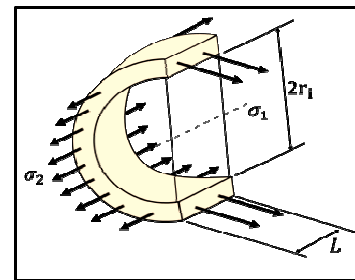
σ_1, σ_1 : Tegangan normal (MPa)

p : Tekanan (Bar)

r_i : Radius dalam silinder (mm)

t : Tebal dinding silinder (mm)

L : Panjang silinder (mm)



Gambar 17. Tegangan Normal Pada Silinder

Rumus *hoop stress* di atas berlaku untuk dinding silinder yang tipis karena memberikan tegangan rata-rata dalam gelungan. Berhubung persamaan 7 digunakan untuk bejana silindris berdinding tipis, maka $r_i \approx r_o$, r_o merupakan radius luar silinder. Tanda huruf dari radius biasanya dapat dihilangkan.

Dalam simulasi pipa untuk validasi diasumsikan menggunakan pipa ukuran 16 inch *extra strong schedule 40 ASTM A106 Grade B*. Adapun data untuk validasi yaitu:

$$p = 100 \text{ Bar} = 10000000 \text{ Pa}$$

$$r_i = 190,5 \text{ mm}$$

$$t = 12,7 \text{ mm}$$

$$L = 1,1 \text{ m}$$

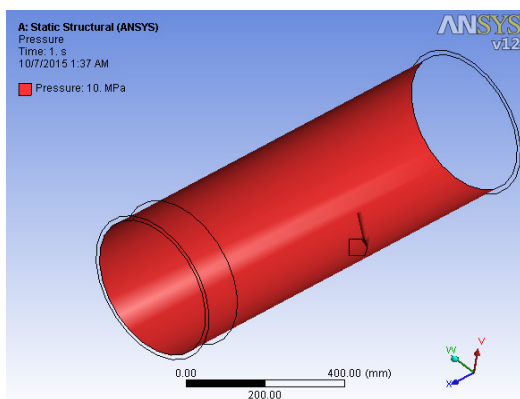
Berdasarkan persamaan 7 diperoleh:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{10000000 \text{ Pa} \cdot 190,5 \text{ mm}}{12,7 \text{ mm}} = 150000000 \text{ Pa} \\ &= 150 \text{ MPa} \end{aligned}$$

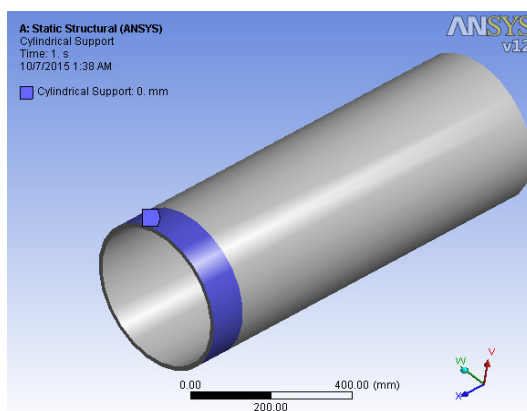
Tekanan yang diterima oleh pipa diaplikasikan pada seluruh permukaan bagian dalam dari pipa panjang 1,1 m. Untuk mengetahui tegangan sesuai hukum *hoop stress* sebesar 150 MPa dalam validasi ini dilakukan

pemberian tekanan pada pipa sebesar 100 Bar pada simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench*.

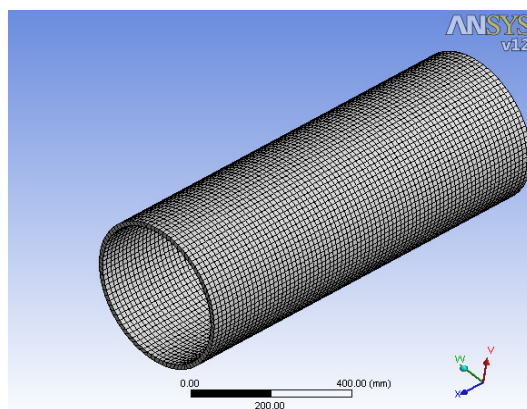
Pipa diberikan tumpuan jenis *cylindrical support* pada satu penampang pipa panjang 100 mm. Pembagian elemen pada pipa sebesar 14 mm yang disesuaikan dengan kapasitas komputer. Adapun hasil pemberian internal pressure, tumpuan dan pembagian elemen ditunjukkan pada gambar-gambar di bawah ini:



Gambar 18. Internal Pressure Pada Pipa 16"



Gambar 19. Pemberian Cylindrical Support



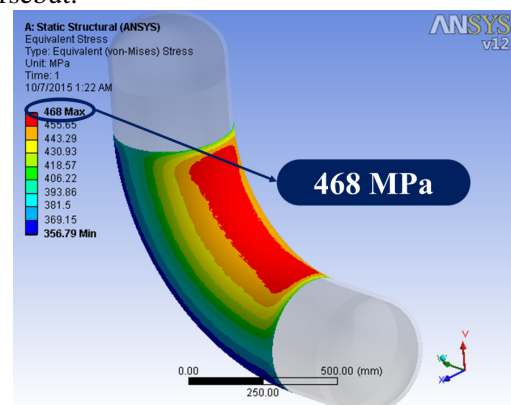
Gambar 20. Pembagian Elemen (Meshing)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Solusi yang ditampilkan dalam simulasi ini merupakan kontur untuk tegangan *von-mises* yang terjadi pada material uji. Tegangan yang terjadi akan dibandingkan dengan kekuatan material dan dianalisis apakah material yang digunakan cukup kuat atau sudah gagal.

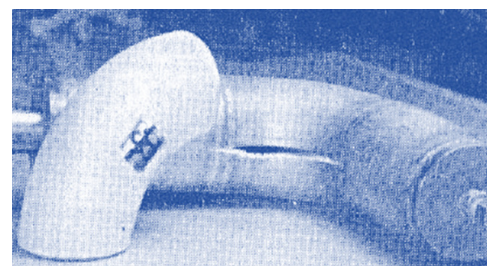
Data percobaan pada tabel 5 merupakan hasil-hasil analisis simulasi yang dapat diterima sesuai standar ASME B16.9. Analisis simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench* dihentikan pada tekanan 351,75 Bar karena hasil tegangan sebesar 473,24 MPa sudah melewati kekuatan tarik material yaitu 468 MPa.

Hasil analisis simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench* dengan memberikan tekanan 347,86 Bar sesuai perhitungan interpolasi ditunjukkan pada gambar 21. Hasil tersebut menyatakan bahwa tekanan maksimum yang menyebabkan *elbow* pecah adalah 347,86 Bar. Artinya *elbow* dapat digunakan secara aktual harus di bawah tekanan tersebut.



Gambar 21. Hasil Analisis ANSYS Workbench Pada Tekanan 347,86 Bar

Posisi kegagalan pada *bursting test elbow* dengan metode *virtual* menggunakan *software ANSYS Workbench* adalah sama dengan posisi kegagalan *bursting test elbow* secara aktual yaitu:



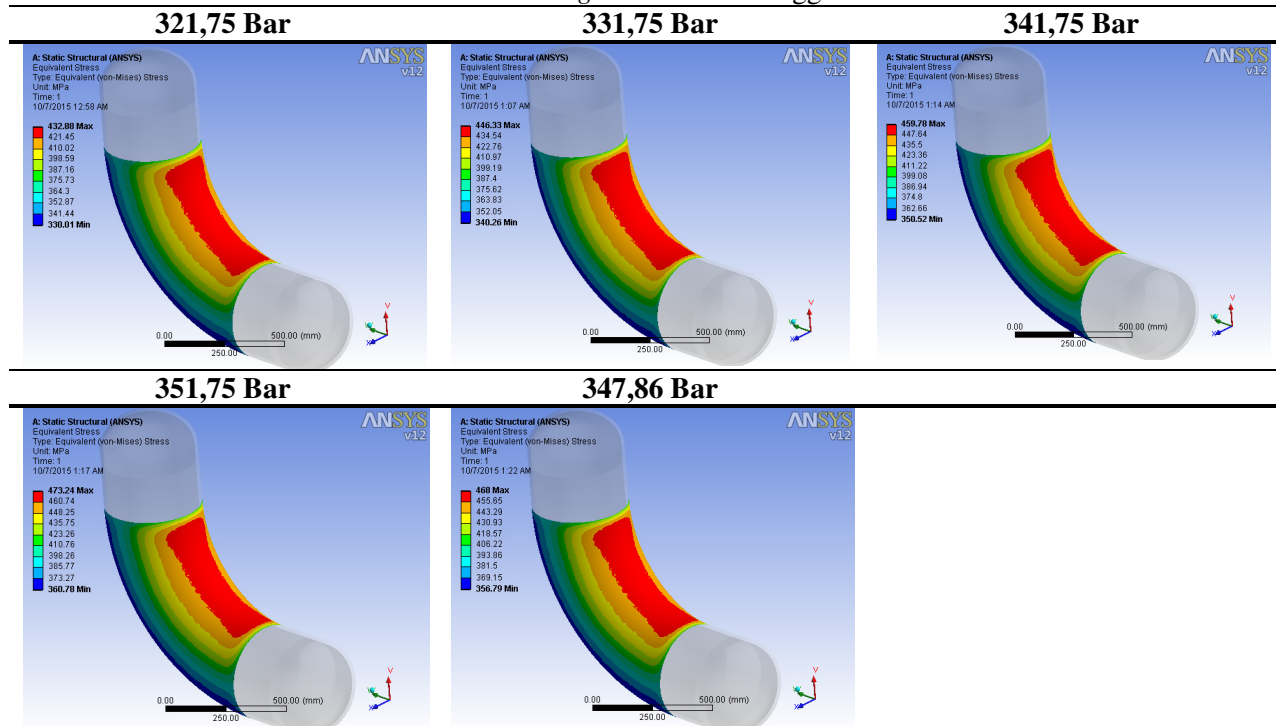
Gambar 22. Posisi Kegagalan Bursting Test Elbow (Aktual)

Dari analisis simulasi menggunakan *software* Metode Elemen Hingga yaitu *ANSYS Workbench* menghasilkan tegangan sebesar 150,04 MPa yang ditunjukkan dengan warna merah pada gambar 23.

Hasil simulasi dengan *software ANSYS Workbench* dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis dengan kasus pembebanan yang sama menunjukkan hasil yang relatif sama, dengan hasil simulasi memperoleh tegangan

150,04 MPa sedangkan hasil perhitungan teoritis memperoleh tegangan 150 MPa. Perbedaan sedikit dari selisih ini disebabkan karena proses pembagian elemen yang ukurannya disesuaikan dengan kapasitas komputer. Semakin kecil angka pembagian elemen akan semakin teliti hasil yang diperoleh. Berikut adalah hasil-hasil simulasi menggunakan *software* Metode Elemen Hingga yaitu *ANSYS Workbench*.

Tabel 6. Hasil-hasil Analisis *Bursting Test Elbow* Menggunakan *ANSYS Workbench*



Dari hasil-hasil analisis pada tabel 6 menunjukkan bahwa *bursting test elbow* 16" LR 90° dapat dilakukan tanpa harus merusak material uji dan hasilnya dapat diterima sesuai standar ASME B16.9 serta riil karena telah dilakukan validasi-validasi. Pada umumnya *bursting test* dilakukan secara nyata tanpa menggunakan metode *virtual* karena hasilnya lebih *valid*, tapi ada beberapa kasus yang harus dilakukan dengan metode *virtual* seperti pada kasus di penelitian ini. Pada pengujian yang akan datang tidak menutup kemungkinan untuk melakukan *bursting test* menggunakan metode *virtual* karena dapat meminimalisir biaya dan waktu yang diperlukan serta hasilnya sesuai standar ASME B16.9.

KESIMPULAN

Bursting test menggunakan metode *virtual* dapat diterima dan lulus uji sesuai kriteria ASME B16.9 yaitu tegangan maksimum yang terjadi pada *elbow* dengan pembebanan tekanan (*required proof test pressure*) 321,75 Bar adalah sebesar 432,88 MPa. Tegangan tersebut berada di bawah *tensile ultimate strength* material ASTM A234 WPB (468 MPa). Penggunaan *elbow* harus di bawah tekanan 347,86 Bar karena tekanan maksimum yang menyebabkan *elbow* pecah adalah 347,86 Bar.

Pengujian *virtual* menggunakan *software* adalah riil dengan adanya validasi pipa yang diuji untuk menentukan tegangan sesuai dengan teori hukum *hoop stress*. *Bursting test* dengan metode *virtual* dapat meminimalisir biaya dan waktu yang diperlukan.

SARAN

Software ANSYS Workbench bukan hanya untuk *bursting test*, tapi dapat diaplikasikan pada uji tarik, uji bending dan pengujian material lainnya. Untuk mengaplikasikan *software* ini diperlukan pengetahuan tentang Metode Elemen Hingga dan materi yang berhubungan dengan pengujian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME Standart. 2012. *ASME B16.9 Factory-Made Wrought Buttwelding Fitting*.
- ASME Standart. 2004. *ASME, B36.10 Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*.
- ASTM Standart. 2000. *ASTM A234 / A234M Standard Specification for Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Moderate and High Temperature Service*.
- Popov, E.P. 1983. *Mekanika Teknik*. Alih Bahasa, Tanisan, Zainul Astaman. Jakarta: Erlangga.
- Perangkat lunak ANSYS *Workbench Release* 12.0.
- Perangkat lunak *Autodesk Inventor Professional* 2011.
- Raswari. 1987. *Perencanaan dan Penggambaran Sistem Perpipaan*. Cet.1. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- S.T. Eng. Co.,Ltd. *Certificate of Inspection & Test*, Busan: 09 Agustus 2013.
- Tectubi (Tianjin) Fittings Co.,Ltd. *Actual Dimensions Report*. Tianjin: 15 Desember 2011.
- Widharto, Sri. 2009. *Inspeksi Teknik Buku 3*. Cet.3. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- _____ *Design Proof Test on Prototype Bursting Strength Test*. Tianjin: 15 Desember 2011.